



Jämförelse mellan *Skogliga grunddata 2.0* och fältmätta beståndsvariabler i bestånd med huggningsklass S1 och S2

Comparison between Nationwide forest database 2.0 and field measured stand variables in stands with maturity class S1 and S2

MATS REMSÖ



Examensarbete i skogshushållning, 15 hp

Serienamn: Examensarbete /SLU, Skogsmästarprogrammet 2020:18

SLU-Skogsmästarskolan

Box 43

739 21 SKINNSKATTEBERG

Tel: 0222-349 50

Jämförelse mellan *Skogliga grunddata 2.0* och fältmätta beståndsvariabler i bestånd med huggningsklass S1 och S2

Comparison between Nationwide forest database 2.0 and field measured stand variables in stands with maturity class S1 and S2

Mats Remsö

Handledare: Staffan Stenhag, SLU Skogsmästarskolan

Examinator: Johan Törnblom, SLU Skogsmästarskolan

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: Självständigt arbete (examensarbete) med nivå och fördjupning G2E med möjlighet att erhålla kandidat- och yrkesexamen

Kurstitel: Kandidatarbete i Skogshushållning

Kursansvarig institution: Skogsmästarskolan

Kurskod: EX0938

Program/utbildning: Skogsmästarprogrammet

Utgivningsort: Skinnskatteberg

Utgivningsår: 2020

Omslagsbild: Fältmätning Hjärtsjömåla 1:24, provyta 4. Foto: Mats Remsö.

Elektronisk publicering: <https://stud.epsilon.slu.se>

Serietitel: Examensarbete/SLU, Skogsmästarprogrammet

Delnummer i serien: 2020:18

Nyckelord: flygburen laserskanning, skattning av skogsegenskaper, fjärranalys, Svenska Riksskogstaxeringen



Sveriges lantbruksuniversitet
Skogsvetenskapliga fakulteten
Skogsmästarskolan

Sammanfattning

Den skattning av skogliga variabler som 2009 – 2015 för första gången genomfördes på nationell nivå, blev ett användbart och viktigt verktyg för skogsbruket. För att uppdatera de uppgifter som utvanns i första omgången, genomför nu Skogsstyrelsen tillsammans med Lantmäteriet och Sveriges lantbruksuniversitet, en andra skanningsomgång med start 2018.

Syftet med studien var att undersöka hur de nya genomförda skattningarna av beståndsvariabler överensstämmer med uppskattningar som görs i fält.

På en skogsfastighet i Blekinge slumpades ytor ut som ingick i den nya laserskanningen från 2019. Genom mätningar i fält kunde sedan jämförelser göras mellan laserskattade och fältmätta beståndsvariabler. Vid en jämförelse mellan tidigare gjord utvärdering av de senaste skattningarna och studiens resultat, visar studien en större skillnad mellan laserskattade och fältmätta data för volym och grundyta. Studien visar en bättre överensstämmelse för grundtyevägd medeldiameter och en likvärdig överensstämmelse för grundtyevägd medelhöjd.

För volym, grundyta och grundtyevägd medeldiameter kan skillnaderna mellan laserskattning och fältmätning förklaras systematiska med hög signifikans, men det gick inte att göra för grundtyevägd medelhöjd. Uttryckt som RMSEr (relative Root Mean Square Error) blev värdet för volym 34,0 procent, för grundyta 29,5 procent, för grundtyevägd medeldiameter 12,8 procent och för grundtyevägd medelhöjd 8,0 procent.

Studien visar att det med statistiska metoder och relativt enkel utrustning går att utvärdera skattningarna av skogliga variabler och jämföra dessa med andra mer omfattande undersökningar. I studien visas också att överensstämmelsen mellan laserskattade och fältmätta beståndsvariabler följer en liknande trend som andra utvärderingar, även om resultaten på variabelnivå varierar.

Studien ger även en indikation om att informationen från skattningarna bör och kan anpassas till förhållanden på fastighetsnivå för att bli ett ännu bättre underlag för planering på kort och lång sikt.

Nyckelord: Flygburen laserskanning, skattning av skogsegenskaper, fjärranalys, Svenska Riksskogstaxeringen.

Abstract

The prediction of forest variables that was carried out in the first national laser scanning campaign 2009 – 2015, became a useful and important tool for forest management. In order to update the information that was extracted in the first scanning campaign, the Swedish Forest Agency is now conducting a second national scanning campaign alongside the National Mapping Agency and the Swedish University of Agricultural Sciences, starting in 2018.

The purpose of this study was to examine how the new prediction of forest variables are in line with estimates made in the field. On a forest property in Blekinge county in Sweden, plots were randomly sampled and comparisons made between the results from the second national scanning campaign and field observed stand variables. When comparing previously made evaluations of the latest predictions with the study's results, the study shows a greater difference between laser predicted and field observed data for stem volume and basal area. The study shows a better agreement for basal-area weighted mean stem diameter and an equivalent agreement for basal-area weighted mean tree height.

For stem volume, basal area and basal-area weighted mean stem diameter, the differences between laser estimation and field measurement can be explained systematically with high significance, but it was not possible to do so for basal-area weighted mean tree height.

Expressed as relative RMSE (Root Mean Square Error), the result for stem volume was 34.0%, for basal area 29.5%, for basal-area weighted mean stem diameter 12.8% and for basal-area weighted mean tree height 8.0%.

The study shows that with statistical methods and relatively simple equipment, it is possible to evaluate the prediction of forest variables and compare them with other more extensive surveys. The study also shows that the similarity between laser predicted and field observed stand variables follows a similar trend as other evaluations, although the results at variable level were found to vary.

The study gives an indication that the information from the predictions can and should be adapted to conditions at the property level to be an even better basis for planning in the short and long term.

Keyword: Airborne laser scanning, estimates of forest characteristics, remote sensing, Swedish NFI.

Förord

Skogsnäringen är en viktig del i den gröna omställningen och kan med rätt förutsättningar bli en nyckelbransch. Arbetet med en fossiloberoende fordonsflotta, ökad energieffektivisering och främjande av förnybar energi är alla utmaningar där skogen kan vara en del av lösningen. I det arbetet måste Sveriges skogsägare få rätt möjligheter att utveckla och planera sitt skogsbruk. Fritt tillgängliga och aktuella skogliga grunddata är en viktig komponent för skogsskötseln.

Det här kandidatarbetet om 15 högskolepoäng försöker visa hur dessa data kan utvärderas på en enskild fastighet för att ge ännu större nytta för skogsägaren.

Idén till arbetet är min egen och är driven av mitt intresse för skogsförvaltning och hur tillgänglig och kommande information och teknik kan användas i det arbetet.

För att hitta en fastighet som nyligen hade laserskannats fick jag söka mig mot Blekinge, Sveriges trädgård. Mats Pettersson, virkesköpare på ATA Timber, hjälpte mig att hitta en lämplig fastighet. Stort tack för det. Tack också till skogsägaren Diana Skog AB som upplät sin mark till mina mätningar.

För att kunna jämföra och utvärdera laserskanningarna mot fältdata behövs statistik. Tack till min handledare prefekt Staffan Stenhag för råd och exempel på hur den statistiska bearbetningen kunde göras, samt granskning och allmänna synpunkter på arbetet.

Sturefors i juni 2020

Mats Remsö

Innehåll

INTRODUKTION	1
BAKGRUND TILL LASERSKANNING	1
SKATTNING AV SKOGLIGA VARIABLER	2
UTVÄRDERING AV LASERSKATTNINGAR	3
SKOGLIGA GRUNDDATA 2.0	3
SYFTE OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	4
MATERIAL OCH METODER	5
FASTIGHETEN	5
PROVYTEURVAL OCH FÄLTMÄTNING	5
HYPOTESPRÖVNING	8
BERÄKNING AV RMSE OCH RMSEr	9
RESULTAT	10
MEDELVÄRDEN FRÅN PROVYTOR	10
HYPOTESPRÖVNING	10
PROCENTUELL SKILLNAD	10
BERÄKNING AV RMSE OCH RELATIV RMSE	11
DISKUSSION	12
SLUTSATSER	17
REFERENSER	19
BILAGOR	23
BILAGA 1. UTFALL FRÅN LASERSKANNING 2020-02-09 (LANTMÄTERIET 2020).	23
BILAGA 2. HÖJDKURVOR ENLIGT H25-SYSTEMET (SKOGFORSK).	24
BILAGA 3. PROVYTEDATA FRÅN FÄLTMÄTNING HJÄRTSJÖMÅLA 1:24, BLEKINGE LÄN.	25
BILAGA 4. PROVYTEDATA FRÅN LASERSKATTNING HJÄRTSJÖMÅLA 1:24, BLEKINGE LÄN.	26
BILAGA 5. HYPOTESPRÖVNING	27

Introduktion

Bakgrund till laserskanning

Sveriges landareal täcker en yta om 40,8 miljoner hektar. Av dessa är 23,6 miljoner hektar produktiv skogsmark enligt Skogsstyrelsens definition. Det totala virkesförrådet i landet är närmare 3 400 miljoner m³ sk då skyddad skog inte medräknas. De vanligaste trädslagen är gran (*Picea abies*) och tall (*Pinus sylvestris*) som vardera står för cirka 40 procent av virkesförrådet. Övriga 20 procent består till över hälften av björk och resterande andel består till största delen av andra lövträdarter (Skogsdata 2019).

Sedan 1923 har Sveriges skogsmark inventerats genom Riksskogstaxeringen. Olika modeller för inventering har använts och fram till 1982 användes under olika perioder till exempel bältestaxering och inventering med tillfälliga provytor. Till fältsäsongen 1983 började man använda en kombination av tillfälliga och permanenta ytor. De parametrar som samlas in omfattar bland annat träddata, provträdsgata, beståndsegenskaper samt botten- och fältskikt. Antalet parametrar har ökat stadigt och fokus för inventeringen har breddats från ett skogsbruksperspektiv till att inkludera ett brett spektrum av ekologiska variabler (Riksskogstaxeringen 2019).

Med den tekniska utvecklingen har också nya metoder och modeller för inventering av skog utvecklats och genomförts parallellt med Riksskogstaxeringens arbete. Med det under 1910-talet framväxande flygintresset följde också så småningom skogsbrukets intresse för att använda flyg för inventeringsändamål. Flygbildsteknikens möjligheter väckte tidigt intresse hos skogsbruket. De första försöken gjordes i början av 1930-talet, men det egentliga genombrottet skedde efter andra världskriget (Axelson et al. 1980).

Fotografering tillsammans med termografi och multispektral svepradiometri, är exempel på passiva fjärranalyssystem som alla avläser variationen i strålningsintensitet från objekt i olika våglängder. Exempel på aktiva fjärranalysmetoder, då en källa skickar strålning mot ett objekt som sedan returneras och registreras, är radar och lidar (Axelson et al. 1980).

Lidar (light detection and ranging) fungerar enligt de grundläggande principer som gäller för radar (radio detection and ranging), men lidar använder en mycket kort våglängd och har högre noggrannhet och upplösning (Jelailian 1992). Ett lidar-system kan använda olika ljuskällor (Wehr & Lohr 1999) men är oftast synonymt med laser som ljusalstrande enhet (Liu et al. 2011; Raj et al. 2020). Benämningen laser (light amplification by stimulated emission of radiation) används för att beteckna en teknisk anordning som kan producera elektromagnetisk strålning i våglängdsområdet 180 nm till 1 mm genom processen kontrollerad stimulerad emission (Arbetsmiljöverket AFS 2009:7).

Avståndsmätning med laser kan bestämma avståndet från en sensor till ett målobjekt med hjälp av antingen utsända pulser eller en kontinuerlig ljusvåg.

Avståndet är sedan beräknat som en produkt av ljushastigheten och tiden det tar för ljuset att färdas mellan lasern och målobjektet. I pulsbaserade system så beräknas avståndet med hjälp av den tid det tar för den kortvariga pulsen att färdas mellan den sändande lasern och den mottagande sensorn. I kontinuerliga system används fasförskjutning för att beräkna avstånd till objekt (Wehr & Lohr 1999).

Den troligtvis första publicerade studien gällande laser och skogsinventering gjordes 1977 i Sovjetunionen av Solodukhin och hans kollegor (Næsset 2014). I USA och Canada gjordes efterföljande liknande studier (Nelsson et al. 1984; Aldred & Bonnor 1985). I Sverige började de första försöken med laserskanning för skogsinventeringsändamål 1991 (Næsset 2014). Man använde då det så kallade FLASH-systemet, en experimentlaser som hade utvecklats av Försvarets Forskningsanstalt (FOA).

För att ge en så bra position som möjligt till det objekt som ska undersökas behöver lidar-systemet någon form av bärare. Bäraren kallas ”plattform” och är en separat del i systemet för fjärranalys (Olsson & Reese 2017). Den metod där en flygfarkost genomför laserskanningen kallas för ALS (Airborne Laser Skanning). Som bärare kan fastvingeplan, helikopter och olika typer av UAVs (Unmanned Aerial Vehicle) användas.

Skattning av skogliga variabler

I regeringens klimatproposition (Regeringens proposition 2008/09:162) bedömde regeringen att fjärranalysdata har stor potential för att öka våra kunskaper om klimatförändringar och miljö, och därmed vara en hjälp för samhället att anpassa sig till dessa. Lantmäteriet fick som en följd av propositionen, särskilda medel för att ta fram en ny nationell höjddatabas med tätare och noggrannare höjddata genom laserskanning (Regeringsbeslut M2009/2842/Mk). Tilldelningen av medel motiverades med att genom den ökade riskbild som ett förändrat klimat innebär, så kan inte den då existerande höjddatabasen anses utgöra ett fullgott planeringsunderlag.

Genom att använda skannade data i form av punktmoln som blev tillgängliga i samband med skanningen för den nya nationella höjddatabasen, kunde också information om skogen utvinnas. Skanningsarbetet genomfördes mellan 2009 och 2015. Med den teknik som användes genererades en yttäckning om 0,5 – 1 returpunkter per m². Genom att använda laserpunkternas returer på olika höjd i träd och på mark, kunde man genom att kombinera dessa punkter med data från Riksskogstaxeringens provytor, genom regressionsanalys skatta data för ett antal skogliga variabler för varje cell (Nilsson 2017). En unik skattningsfunktion görs för block om vanligtvis 25 × 50 km med i huvudsak stöd av de närmsta 280 ytorna från Riksskogstaxeringen. Data för volym, grundyta, grundytvägd medeldiameter och grundytvägd medelhöjd skapades i raster med cellstorleken 12,5 × 12,5 meter. Resultaten gjordes tillgängliga hos Skogsstyrelsen genom produkten Skogliga grunddata.

Utvärdering av laserskattningar

För att ge en så bra produkt som möjligt till användare av de skattade skogliga variablerna behöver en utvärdering göras. Värden från fältmätt referensdata jämförs då med skattade data från laserskanningen. Analysen ska göras med provytor där utlägg är baserat på en sannolikhetssampling där ett slumpmässigt utlägg är giltigt. En viktig egenskap för valideringsdata är att de kommer från högkvalitativa mätningar avseende position och fältmätta värden (Reese 2017). För kontinuerliga skattningar är RMSE och relativ RMSE (RMSEr) vanliga sätt att redovisa fel i produkten (Reese 2017).

Skattningarna för volym, grundyta, grundtevägd medeldiameter och grundtevägd medelhöjd (Tabell 1) kunde göras med en RMSEr som var i paritet med studier om traditionella subjektiva inventeringsmetoder (Ståhl 1992).

Tabell 1. RMSEr av skattade bestandsvariabler (Nilsson et al. 2017)

Bestandsvariabler			
Volym m ³ sk/ha	Grundyta m ² /ha	Dgv, cm	Hgv, m
17,2 - 22,0 %	13,9 - 18,2 %	8, 7 - 13,1 %	5,4 - 9,5 %

Skogliga grunddata 2.0

De skattningar som gjordes 2009 – 2015 behövde så småningom uppdateras. Skogens tillväxt gör att de skogliga variabler som skattades i samband med den tidigare nationella skanningen även med tillväxtfunktioner blir alltmer otillförlitliga. Strukturella förändringar som normala skogsskötselåtgärder, stormskador och insektsangrepp gör att de skogliga variablerna förändras, ofta dramatiskt.

I februari 2017 arrangerades ett möte på Kungl. Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA) kring datainsamling i framtiden där behovet av ny laserskanning diskuterades (Rapport från myndighetssamverkan kring Nationella geodatastrategin 2017). De medverkande myndigheterna och skogsföretagen ansåg i samsyn att det var nödvändigt att snabbt starta arbetet med ett nytt omdrev av den tidigare gjorda laserskanningen.

Lantmäteriet blev ansvarig myndighet för skanningen och det praktiska utförandet görs av ett privat företag som har fått uppdraget genom upphandling. Skanningen innebär att två produkter kommer att tas fram. Dels markklassade laserpunkter till produkten Laserdata NH som används för att skapa Nationell Höjdmodell (NH), och dels produkten Laserdata Skog som ger de punktmoln som används i skattningarna för de nya Skogliga Grunddata som tas fram (Kvalitetsbeskrivning laserdata 2019). Jämfört med skanningsomgången 2009 – 2015, kommer den nya skanningen ha en högre punkttäthet om 1 – 2 punkter per m². Produktionstiden för

att få täckning av hela Sverige är i maj 2020 beräknad till cirka sju år (Lantmäteriet, www.lantmateriet.se 2020).

Regeringen ger i mars 2019, Skogsstyrelsen och Sveriges lantbruksuniversitet uppdrag att uppdatera, utveckla och tillgängliggöra digitala kunskapsunderlag med skogliga grunddata med hjälp av Lantmäteriets laserskanning av Sveriges skogsmark (Regeringsbeslut 2019). Regeringen betonar särskilt vikten av aktuella, tillförlitliga och lättillgängliga kunskapsunderlag som grund för ökad miljöhänsyn och ökad skogsproduktion.

Syfte och frågeställningar

De skattningar som görs i samband med framtagande av skogliga grunddata bygger på en totalskanning av skogen som sedan jämförs med provtytor från Riksskogstaxeringen och genom regressionsanalys skapas sedan blockvis en skattning av de aktuella skogliga variablerna (Nilsson et al. 2017).

Det innebär att de skogliga variablerna för den övervägande delen av skogsmarken är skattade enligt metoden ovan. Praktiker som Nilsson¹ har vittnat om att resultaten för variablerna på avdelningsnivå kan variera kraftigt. Syftet med studien är att undersöka om en objektiv metod baserad på mätningar i fält, kan användas för utvärdering av resultaten från laserskattningarna. Den avgränsas till avdelningar med huggningsklasserna S1 och S2 på en fastighet i norra Blekinge.

Arbetet ska försöka undersöka och besvara tre huvudfrågor:

- Är den metod som används i studien praktiskt användbar för att jämföra skogliga grunddata med uppskattade fältdata i huggningsklasserna S1 och S2 på en skogsfastighet i södra Sverige?
- Kan systematiska skillnader mellan skogliga grunddata och uppskattade fältdata påvisas?
- Är utfallet i studien vad gäller eventuella skillnader mellan laserskattade och fältmätta bestandsvariabler, liknande de resultat som redovisats i tidigare studier?

¹ Karl-Olof Nilsson, Skogsfokus, 2020-04-14

Material och metoder

Fastigheten

Vid starten av arbetet hade endast delar av Sverige skannats och skattats (Bilaga 1). För fältarbetet i studien valdes en fastighet i Blekinge, cirka 2 mil norr om Karlshamn. Fastigheten Hjärtsjömåla 1:24 och Åryds-Bökemåla 1:45 bestod av två skiften. Fastigheten befanns ligga i Åryd socken, Karlshamns kommun på cirka 100 meters höjd över havet. Den produktiva arealen var 289 hektar varav 233 hektar fanns inom skifte ett. Den dominerande skogstypen var barrblandskog på frisk mark. Medelboniteten på fastigheten var i genomsnitt ca 7,1 m³sk per hektar och år, vilket var något lägre (Skogsdata 2019) än medelboniteten i Blekinge län.

Ytstrukturen bedömdes till övervägande del kunna hänföras till klass 4. Grundförhållanden till klass 5 och lutning till klass 3 (Berg 1995). Trädslagsfördelningen på hela fastigheten utgjordes av 41 procent tall, 44 procent gran och 15 procent löv.

På fastigheten valdes avdelningar ut med huggningsklass S1 eller S2. Eftersom skogsbruksplanen inte var uppdaterad sedan den upprättades 2013, valdes de avdelningar bort där en avverkning hade genomförts. Detta analyserades genom att kontrollera avverkningsanmälningar och utförda avverkningar tillsammans med kontroll av virkesförråd genom Skogliga grunddata. Laserskanningarna för det aktuella området genomfördes den 6 april 2019.

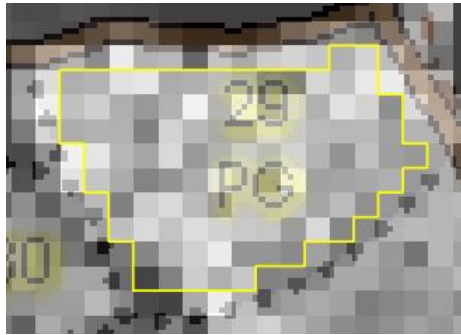
Provyteurval och fältmätning

För att undersöka överensstämmelsen mellan uppmätta bestandsvariabler och Skogliga Grunddata 2.0, gjordes ett slumpmässigt urval av provytor baserade på de pixlar om 12,5 × 12,5 meter där skattade medelvärden presenteras för volym, grundyta, grundytevägd medeldiameter samt grundytevägd medelhöjd. Vid det slumpmässiga urvalet föll endast pixlar ut som fanns inom aktuella avdelningar i skifte 1. Skogsbruksplanen hanterades i pcSKOG och övrig hantering av raster- och vektordata gjordes i QGIS.

30 pixlar slumpades ut av totalt 2 174 pixlar som lokaliserades inom avdelningsgränsen för S1 och S2 bestånd. Antalet pixlar per avdelning beräknades genom att rita en polygon inom respektive avdelning utan att beröra bestandsgräns (Figur 1). Vid provyteutläggningen i fält kom någon provyta att delvis hamna utanför polygonens begränsningslinje därför att en provyta behövde flyttas enligt senare beskrivna rutin, och de faktiska skogliga förutsättningarna gjorde det möjligt.

De avdelningar som berördes av de utlottade pixlarna var nummer 13, 16, 25, 29, 35 och 39. Den aritmetiska trädslagsfördelningen i dessa avdelningar var 76

procent tall, 12 procent gran och 12 procent löv. Avdelningarna 13 (20 provytor) och 25 (1 provyta) hade ett bedömt ståndortsindex i skogsbruksplanen om T22. Avdelning 16 (5 provytor), 29 (2 provytor), och 35 (1 provyta) hade ståndortsindex T24. Avdelning 39 (1 provyta) hade ståndortsindex G24.



Figur 1. Den gula linjen utgör begränsningslinjen för de i en avdelning ingående pixlarna.

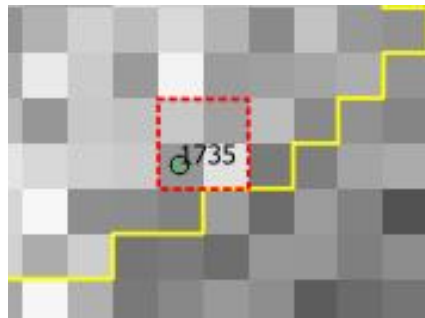
Där väg eller kraftledning korsade avdelningen, numrerades avdelningsytorna med avdelningsnummer och delytenummer från norr mot söder och från väster mot öster. Avdelningar med endast en polygon numrerades med avdelningsnummer samt en etta. Avdelningar med flera polygoner numrerades med avdelningsnummer och delpolygonens löpnummer räknat från norr mot söder och väster mot öster. För varje polygon numrerades pixlarna radvis från norr mot söder och från väster mot öster. Varje pixel tilldelades ett löpnummer från 1 – 2 174 med början i avdelningen med lägst avdelningsnummer. Polygonens areal dividerades med pixelarealen för att få antalet pixlar per avdelning.

För att få resultaten väntevärdesriktiga gjordes ett urval med slumpfunktionsen SLUMP.MELLAN() i Excel, och 30 pixlar slumpades ut bland de 2 174 pixlarna. I de fall pixlarna hamnade på ett sådant sätt att provytor inte kunde byggas enligt regel ovan, prövades att flytta pixeln enligt turordningen öster, söder, väster, norr tills en provyta kunde byggas.

Terrängförhållandena på fastigheten var relativt besvärliga med en uppskattad GYL i de berörda avdelningarna om 5,4,3. Det gjorde att mätningar med utgångspunkt från en del lottade pixlar inte gick att genomföra på grund av arbetsmiljöaspekter. I de fallen slumpades en extra yta ut ibland de återstående 30 ursprungliga ytorna som placerades närmast väster om ursprunglig yta. I de fall en extra yta slumpades ut, numrerades den genom att addera en tvåa till numreringen av den ursprungliga angränsande provytan.

Provytorna byggdes sedan samman av ytterligare tre pixlar mot norr, nordöst och öster så att en kvadrat med sidorna 25×25 meter bildades (Figur 2). En större provyteareal kan till viss del utjämna felaktigheter beroende på provytans position

jämfört med de skattade pixlarna (Globakken & Næset 2009), och därför valdes att göra provytan fyra gånger så stor som de skattade pixlarna. Tidigare studier (Magnussen & Boudewyn 1998) har visat att det för minimering av bias är viktigt att formen och storleken hos den skattade ytan och den fältmätta ytan överensstämmer.



Figur 2. Fyra pixlar inom röstreckad linje bildade en provyta om 25×25 meter. Nedre vänstra hörnet var utgångskoordinat. 1 735 var här ordningsnumret av alla pixlar.

Varje pixel är redovisad med en koordinat för nedre vänstra hörnet och den utlottade pixeln utgjorde utgångskoordinat för provytan. Om provytornas fältmätta läge inte överensstämmer med laserdata kan skattningarnas kvalitet försämrats. Koordinatsättning av provytorna bör därför göras med differentiell GPS (Nordkvist & Olsson 2013). Differentiell GPS (DGPS) innebär att den ordinarie signalen kompletteras med en korrektionssignal för att förbättra noggrannheten. Lantmäteriets SWEPOS-nät är ett exempel på system för DGPS.

GPS (Global Positioning System) är det satellitbaserade system som USA ger fri tillgång till om än med vissa begränsningar. Andra system av GNSS (Global Navigation Satellite System) har utvecklats av EU (Galileo) och Ryssland (GLONASS). Det av EU utvecklade European Geostationary Navigation Overlay Service (EGNOS) består av tre geostationära satelliter som ger både GPS och Galileo en förbättrad noggrannhet (European Global Navigation Agency 2020).

En studie av utrustning för positioneringsbestämning av skördare (Jönsson et al. 2017) visade att GPS som kunde ta emot korrektionssignalen från EGNOS, hade en lika bra och stabilare positionsangivelse jämfört med DGPS. Med stöd av detta valdes en GPS-mottagare som kunde ta emot signaler både från GPS och GLONASS samt hantera korrektionssignalen från EGNOS. Kalibreringsmätningar mot fasta, i ortofoto identifierade punkter, visade också på en god noggrannhet i positionsbestämningen.

Med måttband och kompass mättes sedan provytan in. För att markera hörnen på provytan användes traditionella rågångskäppar. För att uppskatta höjden på varje träd som mättes in, användes höjdkurvor enligt H25-systemet (Bilaga 2). På ytan

registrerades tr addediameter i millimeter på mötande kant samt H25 trädslagsvis. Gränsträd medräknades om minst 50 procent av diametern föll inom provytans begränsningslinje. I de fall 25-centimetersträd saknades, mättes höjden på det träd vars diameter låg närmast 25 cm. I beräkningen skattades sedan H25 fram genom att pröva H25-diametern i funktionen tills diametern överensstämde med uppmätt diameter hos det träd med diameter närmast H25.

För volymsuppskattningen av de enskilda träden valdes Brandels volymfunktion med koefficienter för funktion nummer 100 – 1 för tall, gran och björk (Brandel 1994). Då den övervägande delen av lövträden bestod av björk, användes Brandels funktion även för övriga lövträd. De registrerade mätvärdena klassindelades inte utan diametern i millimeter användes för beräkning i Brandels mindre funktioner.

Hypotesprövning

För att undersöka om de skillnader som fanns mellan fältmätta beståndsvariabler och skannade och skattade beståndsvariabler var signifikanta, genomfördes hypotesprövning (Stenhag 2019; Figur 3).

H_0 : Skillnader i resultat mellan fältmätta beståndsvariabler och laserskannade samt skattade beståndsvariabler beror på slumpen.

H_1 : Skillnader i resultat mellan fältmätta beståndsvariabler och laserskannade samt skattade beståndsvariabler, beror inte på slumpen utan differenser beror på systematiska skillnader.

$$\begin{cases} H_0 : \mu_D = 0 \\ H_1 : \mu_D \neq 0 \end{cases}$$

Figur 3. Hypotes (H_0) och mothypotes (H_1).

För varje provyta och beståndsvariabel beräknades skillnaden mellan skannade och skattade beståndsvariabler och fältmätta beståndsvariabler, för att sedan beräkna skillnadernas aritmetiska medelvärde. Därefter beräknades standardavvikelsen. Testvariabeln (z) beräknades sedan för varje beståndsvariabel (Figur 4).

$$z = \frac{\bar{x} - \mu}{s \sqrt{n}}$$

Figur 4. Formel för hypotesprövning gällande ett sampel, prövning av hypoteser angående μ . Undersökningsvariabelns fördelning okänd men stickprovet stort (Stenhag 2019).

Den för varje beståndsparameter beräknade testvariabeln (z) resulterade i en given sannolikhet (Tabell 2).

Tabell 2. Standardiserad normalfördelning. Det mot en given sannolikhet svarande z-värdet

P %	z
5	1,64
2,5	1,96
1	2,33
0,5	2,58
0,1	3,09
0,05	3,29

Beräkning av RMSE och RMSEr

I uppföljningen av de skogliga skattningarna från 2009 – 2015 (Nilsson et al. 2017) beräknades RMSE (Root Mean Square Error) och relativ RMSE utifrån provvytor från Riksskogstaxeringen och laserskattade motsvarande ytor. För att på motsvarande sätt kunna jämföra resultaten mellan i studien fältmätta provvytor och laserskattade motsvarande ytor, beräknades RMSE (Figur 5) och relativ RMSE (Figur 6).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_i)^2}{n}}$$

Figur 5. Beräkning av RMSE där $\Delta_i = (\hat{v}_i - v_i)$
 Δ_i är skillnaden mellan den skattade parametern (\hat{v}_i) och referensdata (v_i). i står för den i :te observationen och n står för antalet observationer (Reese 2017).

$$\text{Relativ RMSE} = \frac{RMSE}{\bar{v}}$$

Figur 6. Beräkning av relativ RMSE där \bar{v} är medelvärdet av en parameter (Reese 2017).

Resultat

Medelvärden från provytor

Fältmätningarna från de 30 provytorna resulterade i ett aritmetiskt medelvärde för provytevolymen om 254,5 m³sk/ha. Medelvärdet för provytornas grundyta beräknades till 25,4 m²/ha. För grundytevägd medeldiameter och grundytevägd medelhöjd beräknades dessa beståndsvariabler till 34,1 centimeter respektive 23,1 meter (Tabell 3). Data för respektive provyta redovisas i bilaga 3.

De laserskannade och därefter skattade beståndsvariablerna för motsvarande provytor gav ett aritmetiskt medelvärde för provytevolymen om 319,4 m³sk/ha vilket jämfört med det fältmätta aritmetiska medelvärdet innebär cirka 26 procent högre volym. Provytornas grundyta beräknades till 31,3 m²/ha som aritmetiskt medelvärde. För grundytevägd medeldiameter och grundytevägd medelhöjd beräknades beståndsvariablerna till 30,8 centimeter respektive 23,0 meter (Tabell 3). Data för provytorna redovisas i bilaga 4.

Hypotesprövning

För att undersöka om de skillnader som finns mellan fältmätta beståndsvariabler och skannade och skattade beståndsvariabler är signifikanta, genomfördes hypotesprövning.

Resultaten för volym från laserdata ligger signifikant högre än vad de fältmätta ytornas resultat gör ($p < 0,001$). Även för grundyta ligger resultaten från laserdata signifikant högre än vad de fältmätta ytornas resultat gör ($p < 0,001$). Resultaten från laserdata ligger signifikant lägre för grundytevägd medeldiameter än vad de fältmätta ytornas resultat gör ($p < 0,001$). För grundytevägd medelhöjd går det inte att med signifikans visa att skillnaderna är systematiska (Bilaga 5).

Procentuell skillnad

Uttryckt i procent var den laserskattade volymen 25,5 procent högre än den fältmätta och grundytan 23,3 procent högre. Grundytevägd medeldiameter var 9,7 procent lägre och grundytevägd medelhöjd 0,7 procent lägre (Tabell 3).

Tabell 3. Medelvärden av beståndsvariabler från slumpmässigt utvalda provytor

	Beståndsvariabler			
	Volym m ³ sk/ha	Grundyta m ² /ha	Dgv, cm	Hgv, m
Fältmätning	254,5	25,4	34,1	23,1
Laserskanning	319,4	31,3	30,8	23,0
Laserskanning relaterat till fältmätning	+25,5%	+23,3%	-9,7 %	-0,7%

Beräkning av RMSE och relativ RMSE

I uppföljningar och noggrannhetsanalyser av laserskattningar används ofta RMSE och relativ RMSE för att jämföra fältmätta beståndsvariabler med motsvarande som är skattade efter laserskanning (Næsset et al. 2004; Nilsson et al. 2017).

I studien gjordes beräkning av RMSE (Tabell 4) och relativ RMSE (Tabell 5) för volym, grundyta, grundytvägd medeldiameter och grundytvägd medelhöjd.

Tabell 4. RMSE av skattade beståndsvariabler

Beståndsvariabler			
Volym m ³ sk/ha	Grundyta m ² /ha	Dgv, cm	Hgv, m
86,5	7,5	4,3	1,8

Tabell 5. RMSEr av skattade beståndsvariabler

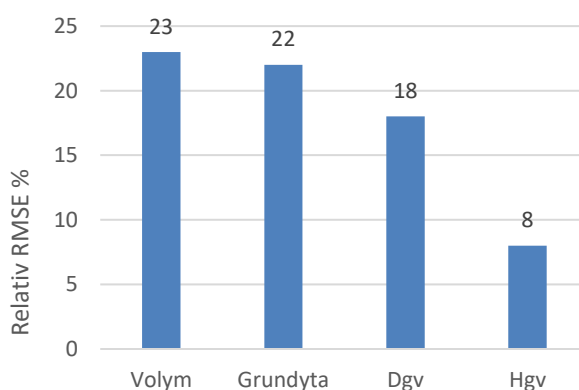
Beståndsvariabler			
Volym	Grundyta	Dgv	Hgv
34,0 %	29,5 %	12,8 %	8,0 %

Diskussion

Studien visade att laserskattningen med trestjärnig signifikans överskattar volymen och grundytan jämfört med fältmätningarna. Medeldiameter underskattas av laserskattningen, även det med trestjärnig signifikans. För medelhöjd går det inte att bevisa ett statistiskt signifikant samband för över- eller underskattning, och skillnaderna mellan laserskattning och fältmätning får därför anses vara slumpmässiga. Studien indikerar att skillnaderna för volym och grundyta ökar med minskad volym.

RMSEr ligger för volym och grundyta något över den första utvärdering som gjorts av Skogliga grunddata 2.0. Studien visar en något lägre RMSEr för medeldiameter jämfört med utvärderingen och RMSEr för medelhöjd ligger i samma nivå i båda undersökningarna (Sveriges lantbruksuniversitet 2020). Metoden i studien torde med justeringar kunna användas för utvärdering av laserskattningar på fastighets- och avdelningsnivå.

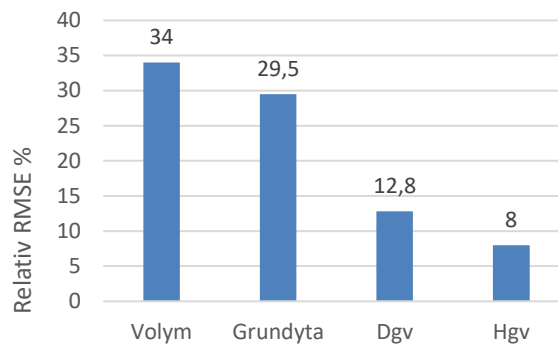
Eftersom skanningsomdrevet för produktion av nya skogliga grunddata är relativt tidigt i genomförandefasen, finns det än så länge få och inte så omfattande utvärderingar av skattningsresultaten. I en utvärdering som gjorts i 360 objektivet inventerade avdelningar från Sveaskogs företagstaxering 2017 (Sveriges lantbruksuniversitet 2020) har noggrannheten beräknats. Från 8 provytor per avdelning har en beräkning gjorts av relativ RMSE för bestandsvariablerna volym, grundyta, grundytavägd medeldiameter och grundytavägd medelhöjd. Beräkningarna presenteras regionvis med indelningen Götaland, Södra Norrland och Svealand. Det har även gjorts en beräkning för hela Sverige. Resultaten för Götaland (Figur 7) är delvis baserade på provytor i gränslandet mellan Kronobergs- och Blekinge län.



Figur 7. Relativ RMSE från utvärdering av Skogliga grunddata 2.0 i Götaland, 2019-10-25 (cirka 30 avdelningar).

Vid jämförelse mellan utvärderingen i Götaland och de värden som beräknats i studien (Figur 8), framkommer att relativ RMSE för medelhöjd överensstämmer

väl mellan de båda beräkningarna. För medeldiameter är värdet cirka fem procentenheter högre i utvärderingen jämfört med studien. Relativ RMSE för grundyta och volym är 7,5 respektive 11 procentenheter högre i studien.

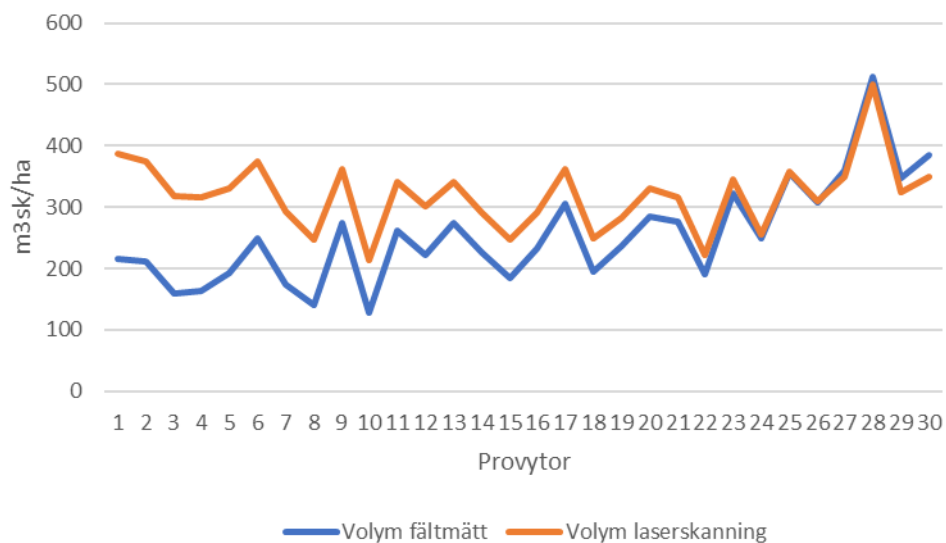


Figur 8. Relativ RMSE från studie på Hjärtsjömåla 1:24.

Som jämförelse kan resultaten användas från utvärderingen (Nilsson et al. 2017) av den första omgången med skogliga skattningar. För Götaland beräknades en relativ RMSE om 18,5 procent för volym, 16,3 procent för grundyta, 11,8 procent för medeldiameter och 6,9 procent för medelhöjd. Resultaten från studien på Hjärtsjömåla 1:24 överensstämmer relativt väl med utvärdering från första omgången vad gäller medeldiameter och medelhöjd. För volym är RMSEr 15,5 procentenheter högre och för grundyta 13,2 procentenheter högre.

Vid en studie i sydvästra Sverige (Lindberg & Hollaus 2012) som både skattade skogliga parametrar samt gjorde utvärdering av dessa med hjälp av fältmätta provytor, beräknades en bästa relativ RMSE om 31,5 procent för volym och 20,8 procent för grundyta. Provytor med mer än 80 procent ek hade då uteslutits.

En intressant upptäckt är att studien antyder skillnad i överensstämmelse mellan fältmätning och laserskanning beroende på volym per hektar (Figur 9).

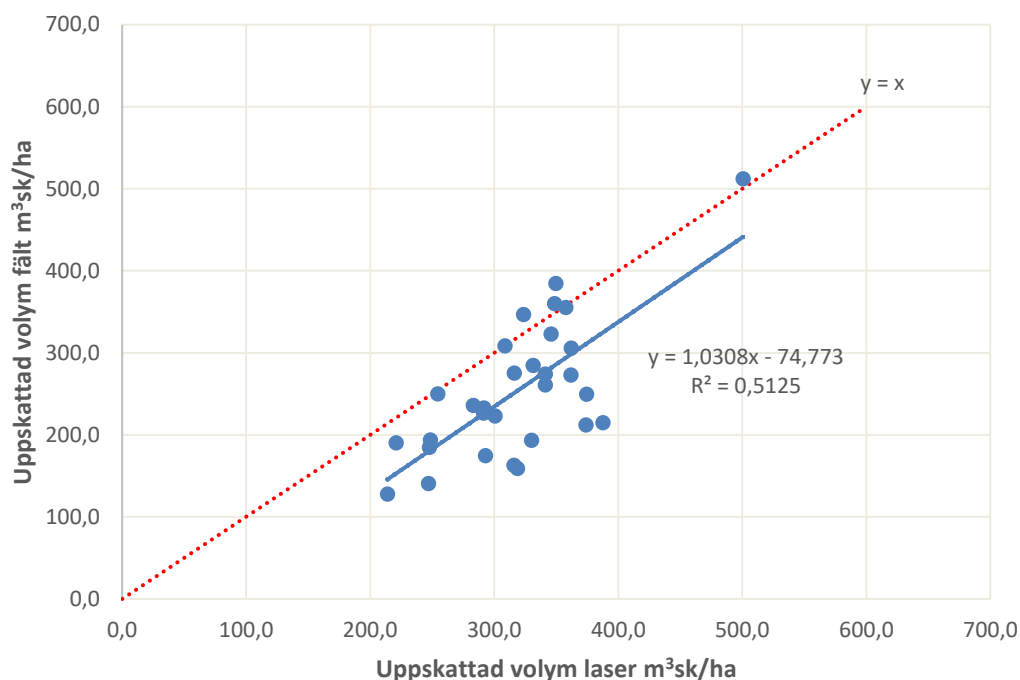


Figur 9. Provytevis jämförelse mellan fältmätt och skannad volym i m³sk/ha.

Studien visar genom hypotesprövning att det föreligger systematiska skillnader mellan laserskattningen av provytor och den fältmätta skattningen av volym, grundyta och medeldiameter. För medelhöjd går det inte att påvisa systematiska skillnader. I praktiken innebär det att för de 30 provytor som undersöktes överskattar laserskanningen volymen med i medeltal 65 m³sk/ha. Skillnaderna verkar vara störst när den fältmätta volymen är som lägst för att sedan minska med ökad volym (Figur 9). Samma iakttagelse gäller även grundyta.

En möjlig anledning till att studien visar en högre RMSEr för volym och grundyta jämfört med andra undersökningar, kan vara att avdelningarna med huggningsklass S1 och S2 där provytor lottats ut, i medeltal kan ha ett lägre ståndortsindex och möjligtvis volym jämfört med de referensytor som använts vid konstruktionen av skattningsfunktionen för området.

Eftersom volym ofta i praktiken är den mest ”kritiska” av de ingående bestandsvariablerna, speciellt i samband med försäljning av virke, skulle det finnas möjlighet att skapa en korrektionsfunktion (Figur 10) för den enskilda fastigheten baserad på den inventeringsmodell som presenterats i studien.



Figur 10. Exempel på hur en korrektionsfunktion kan beskriva förhållandet mellan fältmätt och laserskattad volym. Determinationskoefficienten (R^2) = 0,5125 visar att drygt hälften av variationen i y-led kan förklaras av x-värdena.

Medelhöjd är den beståndsvariabel som i studien och i den första uppföljningen av Skogliga grunddata 2.0 ser ut att stämma bäst överens med fältmätta värden och verkar inte påverkas av skillnader i volym. Eftersom flera undersökningar redovisar att medelhöjd är den skattade beståndsvariabel som har lägst RMSEr, bör den utan korrekationer kunna användas i samband med till exempel skogsbruksplanläggning för att förenkla fältarbetet. Även medeldiameter bör efter fältkontroll kunna användas som en uppgift i skogsbruksplanen.

För alla beståndsvariabler gäller att de förändras över tiden. För att kunna använda dessa fram till nästa skanningsomdrev, behöver de kunna räknas fram. I Skogsstyrelsens tjänst Skogliga grunddata, finns sådana funktioner inbyggda vilket innebär att en redovisad skoglig variabel är framräknad till aktuell tillväxtsång, oavsett tidpunkt för laserskanning och skattning.

Fastigheten där studien utfördes beskrevs i skogsbruksplanen ha goda terrängförhållanden. Det förhållandet gällde för 15 procent av de utlottade provytorna. Övriga provytor var dominerade av block i olika storlekar vilket gjorde det besvärligt och vid några tillfällen omöjligt att kunna nå eller mäta på en provyta. Tidsåtgången för fältarbetet underskattades därför initialt, trots att en pilotstudie hade genomförts där rutiner och tidsåtgång utvärderats.

Studiens rutin för slumpvis urval av provytor där alla pixlar inom aktuella avdelningar tilldelades ett löpnummer och sedan slumpades ut i Excel fungerade bra, liksom modellen för att skapa och hantera provytor från en utlottad pixel.

En förutsättning för att kunna jämföra laserskattningen med i fält uppmätta värden är att mätningarna sker på samma yta (Globakken & Næsset 2009). Pixlarna som producerats vid laserskattningen har i stort sett en korrekt position tack vare användandet av en avancerad positioneringsutrustning vid skanningstillfället.

En större felkälla är positioneringen i fält. Även om positioneringsutrustningen teoretiskt har en godtagbar noggrannhet, så kan den påverkas av tid på dagen och höjd och täthet hos omgivande skog. Eftersom en mottagares intervall för positionsuppdatering ofta kan varieras, är det också viktigt att utrustningen ges tid att positionera in en punkt. Det finns också en risk att markeringen för utgångspositionen inte hamnar helt korrekt, speciellt när marken är berg- eller blockbunden. Besvärlig ytstruktur och lutningar gör att det kan vara svårt att få den kvadratiske provyta som eftersträvas. Genom diagonal kontrollmätning samt kontroll av ytans hörnkoordinater kan fel minimeras.

Undersökningar redovisar att laserskattning av skogliga bestandsvariabler ger en noggrannhet i nivå med subjektiva traditionella metoder för att uppskatta bestandsvariabler till exempel i samband med skogsbruksplanläggning (Nilsson et al. 2017).

Skogsbruksplanen är ofta det viktigaste planeringsverktyget för skogsskötseln på en enskild fastighet. Den tekniska utvecklingen bör tas tillvara för att kunna förbättra och effektivisera skogsbruksplanen som produkt. Min erfarenhet är att Skogsbruksplanläggare i allt större utsträckning använder framför allt laserskattade höjder för att nyproducera och ajourhålla skogsbruksplaner.

Den i studien använda metoden skulle kunna användas för att på fastighetsnivå få en uppfattning om hur skattningsfunktionerna har lyckats fånga tillståndet på den aktuella fastigheten, vilket kan bli viktigare om fjärranalysbaserade metoder alltmer kommer att användas för att ta fram och uppdatera skogsbruksplaner samt vid annan planering av skogliga åtgärder på lång och kort sikt.

Det finns då behov av att framför allt förenkla det slumpmässiga urvalet av provytor samt att förbättra mallar för beräkning och utvärdering. En utvärdering av kostnad och praktisk nytta behöver också genomföras.

Eftersom studien även indikerade att skattningens noggrannhet varierar beroende på volymen på respektive provyta, så finns behov av fördjupade studier kring hur ståndortsindex och volym påverkar skattningen.

Slutsatser

Studien visar att det med statistiska metoder och relativt enkel utrustning går att utvärdera skattningarna av skogliga variabler och jämföra dessa med andra mer omfattande undersökningar.

I studien visas att överensstämmelsen mellan laserskattade och fältmätta bestandsvariabler följer liknande trend som andra utvärderingar, även om resultaten på variabelnivå varierar.

Studien ger också en indikation om att informationen från skattningarna bör och kan anpassas till förhållanden på fastighetsnivå för att bli ett ännu bättre underlag för planering på kort och lång sikt.

Referenser

- Aldred, A. H. & Bonnor, G. M. (1985). *Application of airborne laser to forest surveys*. Information Report PIX-5. Chalk River: Canada Forest Service, Petawawa National Forestry Institute.
- Arbetsmiljöverket AFS 2009:7 (2009). Artificiell optisk strålning.
- Axelson, H. et al. (1980). *Flygbildsteknik och fjärranalys*. Gävle: Nämnden för skoglig flygbildsteknik.
- Berg, S. (1995). *Terrängtypsschema för skogsarbete*. Uppsala: Skogforsk.
- Brandel, G. (1994). *Nya volymfunktioner för tall, gran och björk*. Skogsfakta Nr 11. Uppsala: Sveriges lantbruksuniversitet.
- European Global Navigation Agency, 2020.
<https://www.gsa.europa.eu/egnos/what-egnos> [Hämtad 2020-05-22].
- Globakken, T. & Næsset, E. (2009). *Assessing effects of positioning errors and sample plot size on biophysical stand properties derived from airborne laser scanner data*. Canadian Journal of Forest Research, 39.
- Jelailian, A V. (1992). *Laser Radar Systems*. London: Artech House.
- Jönsson, P. et al. (2017). *Jämförelse av GPS-mottagare visar överraskande resultat*. Nr 63 – 2017. Uppsala: Skogforsk.
- Kvalitetsbeskrivning laserdata (2019). 2019-10-01, Dokumentversion 1.1. Gävle: Lantmäteriet.
- Lantmäteriet (2020). <https://www.lantmateriet.se/sv/Kartor-och-geografisk-information/geodataprodukter/produktlista/laserdata-skog/#steg=3> [Hämtad 2020-05-22].
- Lindberg, E. & Hollaus, M. (2012). *Comparison of Methods for Estimation of Stem Volume, Stem Number and Basal Area from Airborne Laser Scanning Data in a Hemi-Boreal Forest*. Remote Sensing, 4.
- Liu, Q.W. et al. (2011). *Feature analysis of LIDAR waveforms from forest canopies*. Beijing: State Laboratory for Forest Remote Sensing and Information Techniques. Research Institute of Forest Resource Information Techniques of Chinese Academy of Forestry.
- Magnussen, S. & Boudewyn, P. (1998). *Derivations of stand heights from airborne laser scanner data with canopy-based quantile estimators*. Canadian Journal of Forest Research, 28.

- Næsset, E. et. al. (2004). *Laser Scanning of Forest Resources: The Nordic Experience*. Scandinavian Journal of Forest Research 19, 2004.
- Nelson, R., Krabill, W. & Maclean, G. (1984). *Determining forest canopy characteristics using airborne laser data*. Remote Sens. Environ. 15:201_ 212.
- Nilsson, M. et al. (2017). *A nationwide forest attribute map of Sweden predicted using airborne laser scanning data and field data from the National Forest Inventory*. Remote Sensing of Environment, Volume 194.
- Nordkvist, K. & Olsson, H. (2013). *Laserskanning och digital fotogrammetri i skogsbruket*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skoglig resurshushållning.
- Olsson, H. & Reese, H. (2017). *Remote Sensing of Forests*. Skogshushållningsserien. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Raj, T. et al. (2020). *A Survey on LiDAR Scanning Mechanisms*. Bangi: Department of Electrical, Electronic and Systems Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment, The National University of Malaysia.
- Rapport från myndighetssamverkan kring Nationella geodatastrategin 2019 – 2020, Geodata för skogliga ändamål-Skogsdatastrategi. Jönköping: Skogsstyrelsen.
- Reese, H. (2017). *Remote Sensing of Forests*. Skogshushållningsserien, SRH-Ljungbergsfondskompendium. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.
- Regeringens proposition 2008/09:162.
- Regeringsbeslut M2009/2842/Mk.
- Regeringsbeslut N2019/01449/SK.
- Riksskogstaxeringen (2019). *Statistik om skog*. <http://www.slu.se/skogsstatistik> [Hämtad 2020-05-12].
- Skogsdata (2019). *Aktuella uppgifter om de svenska skogarna från Riksskogstaxeringen*. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet, Inst. f. skoglig resurshushållning.
- Stenhag, S. (2019). *Åt skogen med statistik*. Skinnskatteberg: Sveriges lantbruksuniversitet, Skogsmästarskolan.

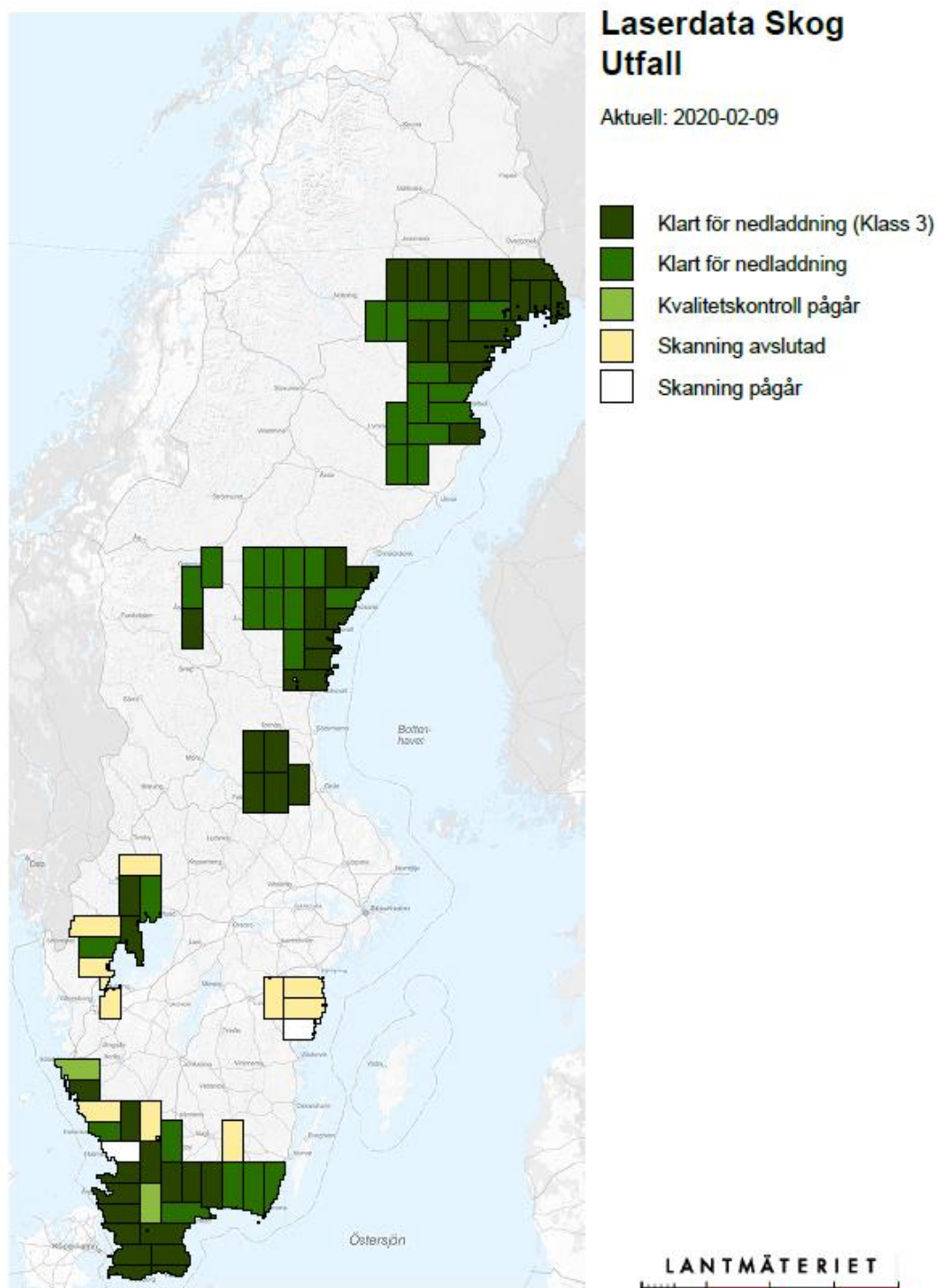
Ståhl, G. (1992). *A study on the quality of compartmentwise forest data acquired by subjective inventory methods*. Section of Forest Mensuration and Management, Report No. 24. Umeå: Sveriges lantbruksuniversitet.

Sveriges lantbruksuniversitet (2020). *Att mäta skogen från ovan*. [Video]
Tillgänglig: <https://play.slu.se/Qc/create/mainshow.asp?id=c0qkds>
[2020-05-25].

Wehr, A. & Lohr, U. (1999). *Airborne laser scanning – an introduction and overview*. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 54, 68-82.

Bilagor

Bilaga 1. Utfall från laserskanning 2020-02-09 (Lantmäteriet 2020).



Bilaga 2. Höjdkurvor enligt H25-systemet (Skogforsk).

Val av lämplig höjdkurva sker med hjälp av det så kallade H25-värdet. Detta baseras på den uppmätta och beräknade medelhöjden hos några provträd med brösthöjdsdiametern 25 cm.

I grundformeln nedan betecknar \ln den naturliga logaritmen. För varje diametervärde (D) kan höjden (H) beräknas.

$$H = a + b * \ln (D) + c * H25 + d * \ln (D) * H25$$

Koefficienter för tall och lövträd (björk och asp):

$$a = 1,518; b = -0,47164; c = -0,518; d = 0,471644$$

Koefficienter för gran:

$$a = 9,022; b = -2,80294; c = -1,256; d = 0,70052$$

Bilaga 3. Provytedata från fältmätning Hjärtsjömåla 1:24, Blekinge län.

Yta	Volym	Grundyta	Dgv	Hgv
1	260,8	26,0	27,7	21,9
2	222,9	23,4	30,2	21,9
3	274,0	27,2	31,2	23,0
4	512,1	43,6	36,4	26,6
5	273,1	25,9	29,6	23,6
6	360,1	33,8	30,7	23,6
7	174,6	19,4	34,2	21,0
8	308,4	29,7	30,7	24,1
9	193,6	18,5	33,7	24,7
10	193,2	21,7	35,3	20,7
11	127,8	14,1	37,0	21,3
12	140,6	17,0	33,7	19,3
13	214,8	24,4	37,6	20,8
14	323,0	31,5	38,2	24,3
15	184,7	18,5	35,7	23,6
16	305,8	27,9	35,5	25,9
17	355,3	32,5	35,2	25,7
18	159,1	17,6	33,0	21,0
19	250,0	26,0	32,2	22,3
20	190,4	19,9	34,5	24,8
21	384,5	35,2	37,7	25,7
22	212,3	23,3	31,3	21,1
23	226,5	25,0	32,0	21,2
24	235,9	22,9	35,5	24,1
25	275,5	26,4	37,9	24,9
26	249,3	26,4	30,6	21,7
27	232,8	22,3	41,0	25,0
28	163,1	17,4	34,3	22,0
29	284,5	28,3	36,9	24,2
30	346,6	35,8	33,6	23,0

Bilaga 4. Provytedata från laserskattning Hjärtsjömåla
1:24, Blekinge län.

Yta	Volym	Grundyta	Dgv	Hgv
1	341,3	33,8	28,0	22,0
2	300,8	31,0	27,0	20,9
3	341,3	33,0	31,0	23,5
4	500,8	41,8	30,3	24,9
5	361,8	33,8	30,8	23,9
6	348,8	33,5	29,0	22,4
7	293,0	30,3	28,8	21,7
8	308,8	31,3	29,3	22,1
9	248,5	26,8	30,5	22,1
10	330,0	32,0	31,0	23,4
11	214,0	24,8	26,3	19,4
12	247,0	26,0	32,5	23,2
13	387,8	35,0	34,0	25,1
14	345,8	32,5	33,8	24,5
15	247,8	26,0	32,5	22,5
16	362,0	33,3	33,5	25,0
17	357,8	33,3	33,8	24,8
18	318,8	31,5	29,5	22,7
19	254,5	27,8	29,5	21,3
20	221,0	24,8	32,3	22,0
21	349,8	33,0	32,8	24,2
22	374,0	33,8	32,5	24,2
23	291,5	30,0	29,3	21,8
24	283,3	28,5	33,5	24,2
25	316,3	30,5	35,5	24,9
26	374,5	35,3	29,0	22,9
27	291,8	30,3	29,5	21,9
28	316,0	31,3	30,8	22,7
29	331,5	32,0	30,5	23,1
30	323,8	32,3	27,8	21,8

Bilaga 5. Hypotesprövning

Volym

För volymen beräknades medelvärde (\bar{x}) av skillnaderna till 64,9 och standardavvikelsen (s) beräknades till 58,1. Vid beräkning i formeln enligt figur 4 resulterar det i testvariabeln (z) 6,12.

Vid 5% signifikansnivå, dubbelsidigt test ger tabellen 2: $z = 1,96$

$P = 1\%$ ger $z = 2,58$

$P = 0,1\%$ ger $z = 3,29$

H_0 kan förkastas för samtliga signifikansnivåer och H_1 är därmed bevisad med 99,9 % säkerhet.

Grundyta

För grundytan beräknades medelvärde (\bar{x}) av skillnaderna till 5,9 och standardavvikelsen (s) beräknades till 4,6. Formeln i figur 4 resulterar i testvariabeln (z) 6,96.

Vid 5% signifikansnivå, dubbelsidigt test ger tabellen 2: $z = 1,96$

$P = 1\%$ ger $z = 2,58$

$P = 0,1\%$ ger $z = 3,29$

H_0 kan förkastas för samtliga signifikansnivåer och H_1 är därmed bevisad med 99,9 % säkerhet.

Grundytevägd medeldiameter (dgv)

För dgv beräknades medelvärde (\bar{x}) av skillnaderna till -3,3 och standardavvikelsen (s) beräknades till 2,9. Formeln i figur 4 resulterar i testvariabeln (z) -6,25.

Vid 5% signifikansnivå, dubbelsidigt test ger tabellen 2: $z = 1,96$

$P = 1\%$ ger $z = 2,58$

$P = 0,1\%$ ger $z = 3,29$

H_0 kan förkastas för samtliga signifikansnivåer och H_1 är bevisad med 99,9 % säkerhet.

Grundytevägd medelhöjd (hgv)

För hgv beräknades medelvärde (\bar{x}) av skillnaderna till -0,2 och standardavvikelsen (s) beräknades till 1,9. Formeln i figur 4 ger testvariabeln (z) -0,45.

Vid 5% signifikansnivå, dubbelsidigt test ger tabellen 2: $z = 1,96$

$P = 1\%$ ger $z = 2,58$

$P = 0,1\%$ ger $z = 3,29$

H_0 kan därför inte förkastas för någon signifikansnivå och H_1 går inte att leda i bevis.